水稻精準農業體系
精準農耕水稻施肥決策系統之案例分析
133-144, 2003

精準農耕水稻施肥決策系統之案例分析

陳琦玲*、張瑞明
行政院農委會農業試驗所農化組
E-mail: chiling@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 134

一、前言 ---------- 134

二、方法簡述 ---------- 135

三、結果與討論 ---------- 138

四、結語 ---------- 142

五、誌謝 ---------- 142

六、引用文獻 ---------- 143

ABSTRACT ---------- 144

精準農耕水稻施肥決策系統之案例分析

陳琦玲*、張瑞明
行政院農委會農業試驗所農化組
E-mail: chiling@wufeng.tari.gov.tw

摘要

本文係針對農委會農業試驗所精準農耕研究計畫在農試所的試驗田區(共 10.83 公頃，分爲 163 個網格小區)，以水稻施肥決策系統，進行施肥決策分析。施肥決策所需的期作生產力圖，係以試驗期間試驗小區個別期作之最高產量構成。一期作各小區之生產力均可達第一級(>6.2 Mg/ha)，二期作則大部分小區可達第二級(5.2-6.2 Mg/ha)，亦有部分田區可達第一級(>6.2 Mg/ha)。試驗期間試驗田區之有效磷含量維持於極高(>28.3μg/ml P by Mehlich's No. 3) 與高等級(11.3-28.3μg/ml P by Mehlich's No. 3)，而鉀含量則維持於高(>48 μg/ml K by Mehlich's No. 3)與中(16-48 μg/ml K by Mehlich's No. 3)等級。依據決策系統之診斷與施肥推薦，二期作應可按目前施肥量減施 14%。未來藉由遙測技術之開發，提供較精準之空間資訊，將相對可獲得更精準之施肥圖。

關鍵詞: 水稻、施肥、決策系統。

一、前言

臺灣稻作單位面積產量之發展與肥料之施用密切相關;肥培技術之發展遂爲臺灣稻作發展上很重要之一環(連，1999)。

肥料之施用固有提高生產和收益一面，亦有其衝擊環境之一面。蓋肥料之施用難免伴隨養分要素之流失或逸散損失，尤以不當之施肥(過量或不良的施肥方法)所致爲最。由於人類對於環境及能源之危機日增，合理或適當之施肥乃受議論；其一端有排除化學肥料之施用，甚至排除一切由外投入之肥料(包括有機質肥料)者，諸如不同之有機農業及某種自足型之生態農業等。惟此等農耕方法之不具生產性甚明，因此一般都以兼顧生產性和環境保護者爲主流，諸如，對環境和善的農耕(Environmentally Friendly Farming)，依地點特性調和的管理(Site Specific Management)或診斷處方的農耕(Prescription Farming)等，均係針對土壤特性、肥力或作物生產潛力、營養狀況等而適量、適法施肥爲原則，以提高施肥效率，減少環境衝擊和達到生產性爲目的。

臺灣稻田之施肥推薦一向都以全區多年多處舉辦之田間試驗結果爲基礎，配合土壤分類、肥力測定等靈活調節，故已相當符合依地點特性調節的施肥管理原則，成績亦達一定水準。惟由於社會經濟因素之變遷，如已成過去但影響仍深的過去肥料價格穩定政策，及近年來之人工缺乏、工資上漲等，肥料之施用確有

過量和粗放傾向。據 1990-1991 年間中部地區稻田多處之調查(戴及林，1992)，農民肥料慣用量平均爲氮、磷酐、氧化鉀各 220，60，110 公斤/公頃，較試驗場所之推薦量平均氮、磷酐、氧化鉀 130，40，60 公斤/公頃，各多出許多，可見過量施肥之一斑。又因稻田多年來之磷鉀肥施用，土壤中亦有磷、鉀累積跡象(Lian, 1989)。加之，由於大量飼料之輸入，臺灣土地之養分負荷實已增大；此等飼料養分經由農畜產廢棄物排出，又難於平均分散於農地，致使局部農地亦有養分過多或水質污染等問題。爲因應上述一連串問題，除了加強機械化施肥技術之發展外，加強既有土壤診斷、施肥推薦服務亦甚重要(連，1998)。

由於資訊科技之發展與普及，美國於 1980 年代後半乃有精準農耕(Precision Farming)之提出(鎏澤，2000)。依據 Robert(1997)之定義，精準農業是一種資訊及技術爲基礎的農業經營管理系統，經藉一套完善的決策系統整合串連農耕資料庫、土壤資料庫、地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技及自動化農機變率操作系統，鑑定、分析與管理特定農田或土壤的空間與時間變異性，期能獲取最佳收益，同時兼顧環境保護，確保農業永續發展。如是，則精準農耕亦是依地點特性調節施肥之一種，惟其發展之背景則是大規模之農場(200-500 公頃)，而且作物種類單純(陳，2000)。臺灣地區稻田每塊田區之面積狹小，且長久以來每個田區已成爲施肥管理的單位，各田區間之變異既非連續，亦無自動化農機變率操作系統發揮功能之餘地。Blackmore(2000)亦質疑在小面積農田施行變量施肥之必要性。另據美國國科會(NRC)所下的定義，精準農業是一種經營管理手段，採用資訊技術分析各種來源的資料以獲得資訊，從而產生與農作生產有關的決策。如是，則廣義的精準農耕與既有依地點特性調節施肥管理的農耕方法並無甚差別，僅在資訊之擴大應用上有些差異而已。由於各方面之努力及資訊科技之應用，台灣亦有各種土壤肥力、稻田生產力等資料庫之建立。當務之急應是將既有之稻田施肥推薦系統電腦化並與上述資料庫連結，擴大資訊之取得，以建構一個較完善的施肥決策系統以供使用。

陳等(2002a)已整合前人之研究結果，建立土壤診斷、施肥推薦之基準，發展水稻施肥決策系統，可串連農耕資料庫、土壤資料庫、地理資訊系統、全球定位系統、及接受遙測科技所獲得之影像檔，並可輸出農機可接受之檔案。本文係針對精準農耕體系研究計畫之試驗田區之調查資料，依施肥決策系統之診斷基準，進行生產與肥力空間變異分析，並與早期之台灣水田一、二期作生產力圖(陳及郭，1991)及農田肥力測定之肥力圖(林，1967)進行比較。亦依多期作之產量圖繪製期作生產力圖，進行施肥決策分析。

二、方法簡述

(一)水稻施肥決策系統

目前施肥決策系統之施肥診斷基準，在氮肥方面，係考慮品種、期作、栽培方式、表土質地與生產力等因素，推薦氮肥施用量；磷、鉀肥則依土壤磷、鉀含量而推薦施肥量，鉀肥推薦量另考慮土壤排水狀況。其中土壤特性如質地與排水狀況屬於較不易變動的資料，可直接由土壤調查資料庫中查詢，但生產力圖之產生需藉累積多年之產量資料而得之，土壤磷、鉀肥力雖會變動，雖不似氮素轉化快速，仍應二、三年檢測一次，以調整其磷、鉀肥施用量，避免肥料之浪費(陳等，2002b)。

目前水稻施肥決策系統資料庫中，除了全省的土壤特性資料庫外，亦有民國 66-73 年調查的台灣稻田期作生產力圖(陳及郭，1991)與

民國 48-56 年調查的臺灣肥力測定之磷、鉀肥力圖(林，1967)，雖可提供施肥決策診斷之基本資料，但爲早期調查資料，特別是肥力狀態爲可變的，應不斷更新，以獲得合理之施肥推薦。精準農耕體系研究計畫之試驗結果，正可提供農試所試驗田區期作生產力圖與磷、鉀肥力圖之更新。

(二)水稻精準農耕體系研究計畫農試所試驗田區

水稻精準農耕體系研究計畫試驗田區位於農業試驗所農場，包括 74-89 號田與 38、39、42、43 號田，共 10.83 公頃，20 塊田區表土質地均屬於坋質壤土(粗質地)，排水等級爲良好(第一級)。爲了解肥力與產量的空間變異，每一田區分爲八個 25m*25m 小區，74 號田爲 12 個小區，各試驗區之編號如圖 1。從 2000 年至 2003 年一期作試驗期間，除了 2000 年二期作 38、42 號田種植台農 71 號外，其餘均種植台農 67 號。農場之栽培管理係由農試所農場組負責，管理作業與流程如賴等(2001)。肥料之施用，除了特殊試驗目的的田區，各期作氮、磷酐與氧化鉀施用量均爲 130、69、66 kg/ha。此施用量爲供給水稻生長之充足量，可推估田間生產潛力。肥料之施用除了深層施肥試驗外，均爲人工撒施。各試驗田區進行之試驗於結果與討論中一併討論說明。

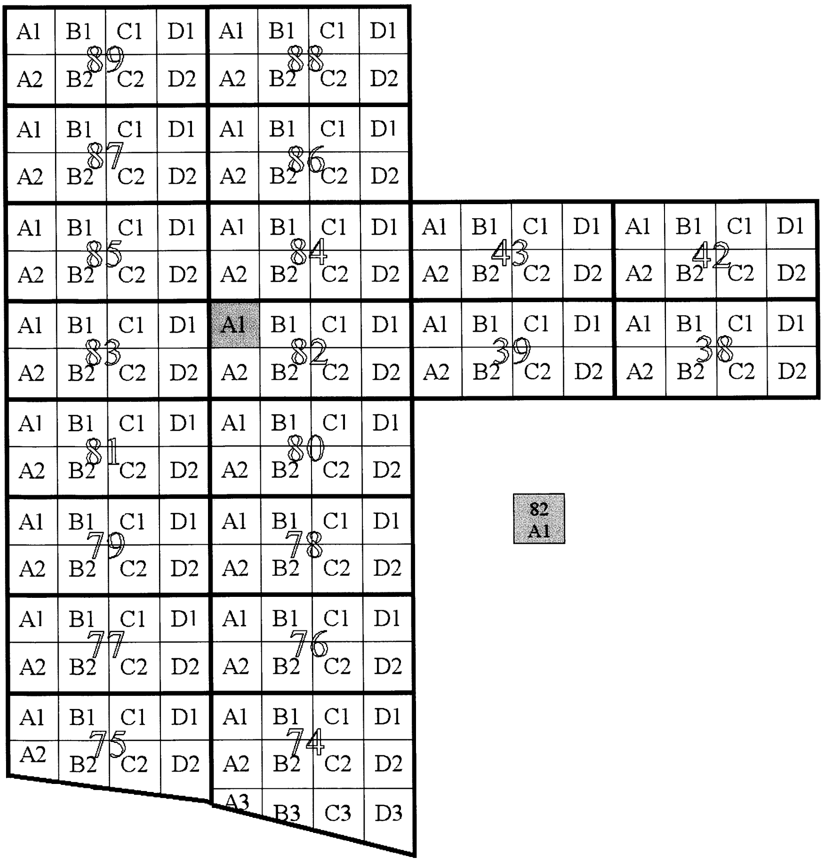

圖 1. 精準農耕農業試驗所試驗田區編號。

(三)農試所試驗田區之施肥決策分析

(1)早期調查之期作生產力圖與肥力圖

依據民國 66-73 年的產量調查，所繪製的水田生產力圖(陳及郭，1991)，農試所精準農耕試驗田區在一期作爲第一等級(>6.2 Mg/ha)，而二期作爲第三級(5.44-5.87 Mg/ha)(水田生產力共分 10 級)，即屬於現在施肥決策系統生產力等級之第二級，如圖 2。係因當時的調查，在考慮人力資源下，僅 10 公頃左右採一土樣，因此整個試驗田區均屬同一等級。

依據民國 66-73 年調查結果所繪製之臺灣省稻田肥力測定之肥力圖(林，1967)，農試所精準農耕試驗田區之磷肥力(Bray No.l)均屬高級，鉀肥力(Mehlich No.1)則屬中級。採樣密度亦爲 10 公頃左右採一土樣，因此與生產力等級相同，整個試驗田區都屬於同一等級。

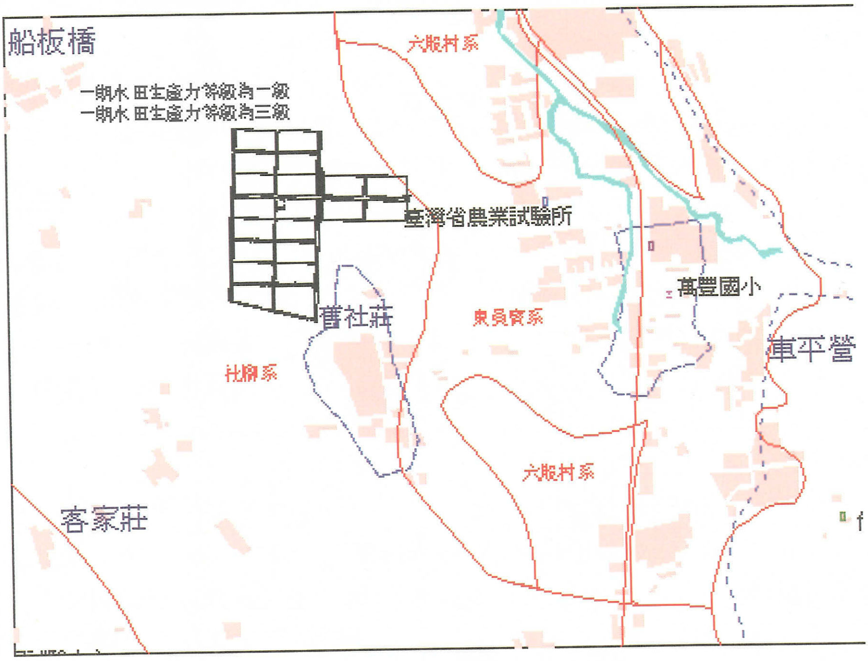

圖 2. 台灣稻田生產力分級(1991)之農試所精準農耕試驗田區一、二期作生產力等級圖。

(2)試驗期間之調查資料

依精準農耕之定義，施肥決策所需之生產力圖與肥力圖，應藉由遙測技術獲得較精準之空間資訊，但因研究計畫之各項遙測技術尚在發展當中。本文採用之肥力圖與產量圖仍以人工採樣方式獲得。其中產量圖則是從各小區內四個逢機點，以人工收割方式，各採樣 25 株，共 100 株，獲得小區產量資料。肥力圖係以網格方式於每個田區採 32 個土樣，而每小區之磷、鉀含量係爲小區之 4 個採樣點分析值之平均值(郭等，2001；劉等，2002)。

由於早期臺灣省肥力測定(林，1967)之土壤有效磷與有效鉀分析係採用 Bray No.1 與 Mehlich's No. 1 方法，因此決策系統係採用該方法之分析值作爲分級基準。但精準農耕研究計畫之土壤有效性磷、鉀均採用 Mehlich's No. 3 之分析方法。因此本文採用 Sibbesen and Sharpley (1997)與楊(1991)之報告，將目前土

壤有效磷與有效鉀分析方法之測值轉爲 Bray No.l 與 Mehlich's No. 1 之測值，轉換公式如下：

P(Bray No.1)=P(Mehlich's No.3)*1.06 --- (1)

P(Bray No.1)：以 Bray No.1 方法測定之土壤有效性磷濃度

P(Mehlich's No.3)：以 Mehlich's No.3 方法測定之土壤有效性磷濃度

K(Mehlich's No.1)=20.57+0.61*K(Mehlich's No.3) -- (2)

K(Mehlich's No.1)：以 Mehlich's No.1 方法測定之土壤有效性鉀濃度

K(Mehlich's No.3)：以 Mehlich's No.3 方法測定之土壤有效性鉀濃度

(3)施肥決策分析

田間作物生長之優劣取決於氣象因子、土壤特性、肥力與栽培管理等多項因子，而作物對養分之需求亦隨氣象與土壤因子而異。水稻施肥決策系統在施肥推薦上已考慮土壤特性與肥力因子，但在氣象方面，因台灣水稻僅分一期作與二期作，且各地區有其固定的栽種期，因此以期作生產力作爲氮肥需求之主要考量因子。期作生產力可藉由累積多期作的產量推估該地區之期作生產潛力。本試驗由於試驗期間各田區均以充足肥料量栽培，病蟲害亦不嚴重，故試驗田區之期作生產力，可藉由試驗期間各小區之最高產量構成。

依期作生產力圖及磷、鉀肥力圖，並連結土壤特性資料庫，施肥決策系統即可依其診斷基準，進行施肥推薦，產生施肥圖，供變率施肥機施肥參考。

三、結果與討論

<u>試驗田區各期作產量分佈</u>

爲探討農試所試驗田區之期作生產力，係將2000年一期作至2003年一期作之各小區產量圖，按施肥決策系統之生產力分爲五級，各年度各期作之產量圖如圖 3。各年度各期作產量之空間變異說明如下：

2000 年一期作前作爲旱作田區如 39、43、87 之玉米與 79 號西瓜田，由於試驗中並未考慮前作殘留肥料效果，各田區均施相同的肥料量，因此在 6 月中旬連續 10 天雨天後，這些田區均有不同程度之倒伏，造成收穫時之產量較其他試驗田區低。39 號與 82 號田區則因延至三月下旬才插秧亦造成減產。2000 年二期作 38、42 號田區因種植台農 71 號品種，又受象神颱風影響全面倒伏，因此平均產量只有 3.5 與 4.3 kg/ha。

2001 年一、二期作在 43、81、83、87 號田進行氮肥試驗(0、60、120、180 kg N/ha，撒施)，因此從一期作產量圖明顯看出前述田區與其他田區之差異及該田區不同肥料量處理對產量之影響。然而二期作因產量全面較低，因此該田區與其他田區之差異較小，但仍明顯看出 0 與 60 kg/ha 處理，因肥料供應不足所造成之低產。2001 年一、二期作另有病蟲害調查，係在 74 與 77 號有不防病處理，75 號田不防蟲處理，76 號不防病亦不防蟲處理，即上述田區不噴灑農藥。根據病蟲害調查結果顯示，上述田區並未發生嚴重的病蟲害，故有 74 號田之二期作產量甚至高於其他田區者之情形。然 75 號田則在 2000 年與 2001 年一、二期作均較低產，原判斷可能是該田區土層較淺(約<30cm)所致，但 2002 年一、二期作

與 2003 年一期作該田區之產量則與其他田區相近，足見土層深度並不是減產之主要限制因子。

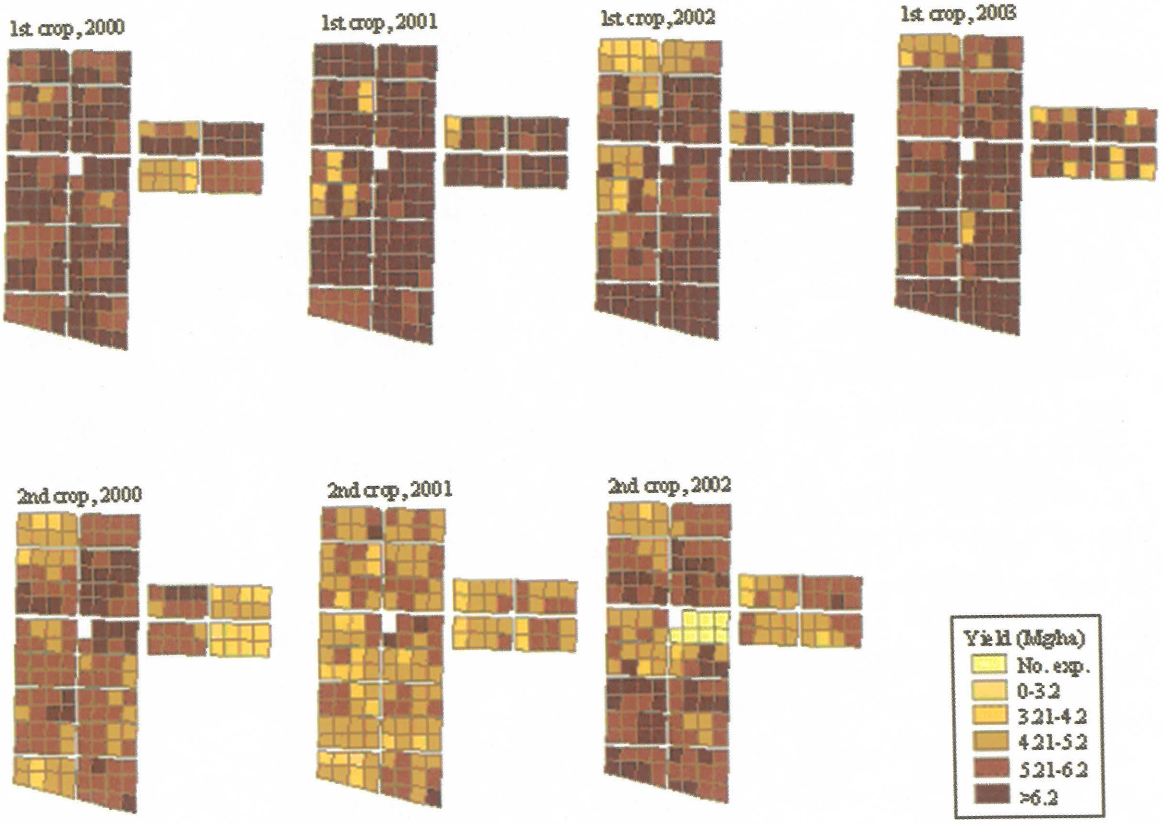

圖 3. 農業試驗所精準農耕試驗田區試驗期間各期作之產量分布圖。

2002 年一、二期作在 43、81、83、87 號田則以深層施肥機進行不同變量之氮肥試驗(0、45、90、135 kg N/ha)，但因施肥機還未能運作順暢，因此各處理施肥量大部分都低於試驗設計量，所以該田區之產量更低於其他田區，且各處理之產量並未完全顯著地呈現肥料處理等級之相對反應。另外爲配合植株氮營養在一期作時 88 號田有半量氮肥量處理(即僅施非特殊試驗田區之 50%氮肥量)與 89 號之不施氮肥處理，因此 88 號與 89 號田之產量低於一般田區。二期作亦出現相同情形，除了 88、89 號田之外，二期作另有 83 號田亦有多種變級的肥料處理，因此 83 號田之產量亦略低於其他田區產量。2002 年一、二期作亦有病蟲害調查，其中 76 號田爲不防蟲，77 號爲不防病處理。但因生長期間並未發生嚴重病蟲害，因此該田區之產量與其他田區相近。此外，爲配合精準農耕研究計畫展示會(於 2002 年 10 月 3 日舉辦)，82 號田二期作並未耕種。

2003 年一期作在 38 與 42 號田及 39 與 43 號田分別進行撒施與深施之肥料試驗(肥料處理等級與 2001 年及 2002 年者同)，以比較施

肥方式對產量之影響。此期作之肥料試驗田區之產量與其他田區亦有明顯之差異，各田區之產量分布亦呈現不同肥料處理對產量之影響，由撒施與深施不同施肥方式之肥料等級對產量之效應，則深施可明顯節省 20-30%肥料之效果甚明。88、89 號田半量肥料量與不施肥處理區，亦與 2001 年之結果相近，由產量可明顯看出肥料之效應。與 2002 年二期作相同，除了 88、89 號田之外，另有 86 號田亦有多種變級的肥料處理，因此 86 號田之產量亦略低於其他田區產量。

由於目前施肥機尚未能運作順暢，仍會有阻塞現象，因此施肥方式仍採用人工撒施方式，因此試驗田區產量之空間變異，除了上述不同品種，肥料處理或作業方式不同，造成空間產量之變異外，應主要是人工撒施肥料所造成的空間變異，且因撒施造成產量的變異遠較土壤肥力空間變異大，此可由田區各欉稻株在肥料供給充分處生產情形良好，甚至可達 10 Mg/ha 以上(郭，2001)，而肥料未達處生產情形即明顯下降可得証明。因此推測目前田區產量呈現之空間變異，主要是由於管理因子所致，而非肥力空間變異之效應。

但整體而言，農試所田區在一期作產量應可達一級生產力，而二期作各年度之生產力差異較大，但應可達二級之生產力，部分田區甚至可達一級生產力。台灣地區水稻二期作單位產量低於一期作者，已有許多報告論及。黃(1978)歸納減量原因主要爲氣象因素，其對稻株生長之影響可歸納如下：(1)二期作初期之高溫抑制稻株之生長，縮短營養生長期間，使一株分蘗數或穗數減少。(2)初期之高溫或中期的低日照量抑制稻株幼穗的生長，使一穗粒數減少。(3)二期作後期的不良氣候，諸如低日照量、低溫、季節風、颱風等，使結實率與千粒重降低，此以中北部地區較爲嚴重。(4)中南部第二期作兩期的低日照、高溫引起稻株之伸長及倒伏等。

試驗田區肥力空間變異

由於精準農耕研究計畫中有關遙測技術應用於肥力測定尚未成熟，因此仍暫以人工採樣的方式獲得肥力圖，每一田區之小區表土肥力係爲網格採樣之 4 個採樣點的肥力測定平均值。郭等(2002)亦應用地理統計方式推估肥力的空間變異。由於研究計畫之規劃，僅在 2000 年與 2001 年一期作前全面採樣，其他期作之採樣田區如圖 4、圖 5，其中肥力爲 0 者表示未採樣。雖然各小區爲 4 個採樣點之平均，但由於以土鑽採樣所取得的土壤樣品有限，在人工撒施肥料可能造成肥料在田間之分佈不均之情形下，同一小區之有效磷、鉀含量，並非隨期作而呈現某一趨勢的變化，特別是土壤較淺之小區，常因採土時混有石礫，造成測值變化較大，如圖四、五。在不同期作，少數田區出現磷、鉀含量列於中(4.7-11.3 μg/ml P by Mehlich's No. 3)或低級者(8-16 μg/ml K by Mehlich's No. 3)，大部分都是出現在土層深度較淺之小區。

試驗期間試驗田區之有效磷含量維持於極高(>28.3μg/ml P by Mehlich's No. 3) 與高等級(11.3-28.3μg/ml P by Mehlich's No. 3)，而鉀含量則維持於高(>48 μg/ml K by Mehlich's No. 3)與中(16-48 μg/ml K by Mehlich's No. 3)等級，故試驗田區是土壤磷、鉀之供給量仍屬充足。相較於民國 48-56 年之肥力測定的肥力資料，土壤有效性磷含量爲高級，土壤有效鉀含量爲中級，顯示試驗田區之磷、鉀含量均有累積之現象。

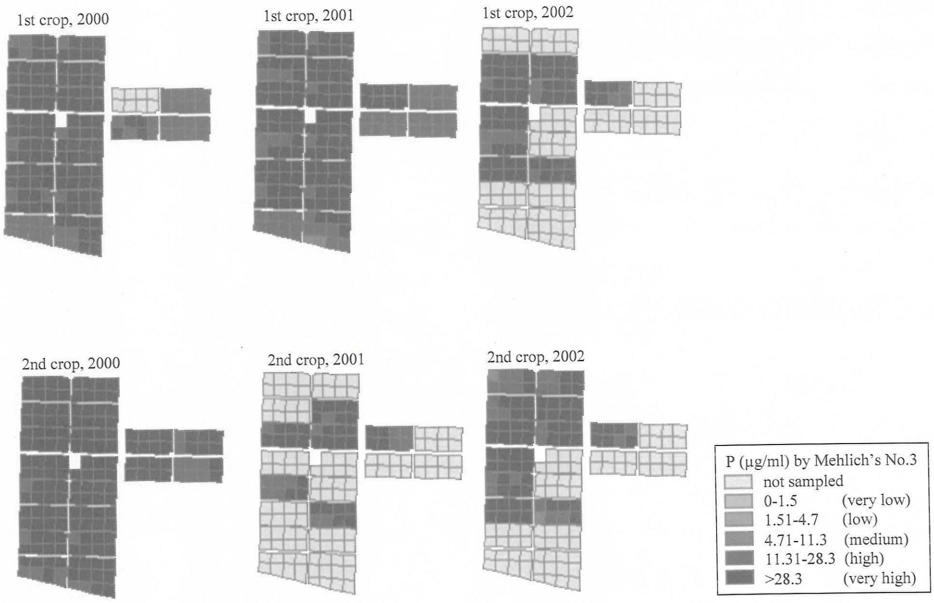

圖 4. 農業試驗所精準農耕試驗田區各期作種植前之表土磷含量分布圖。

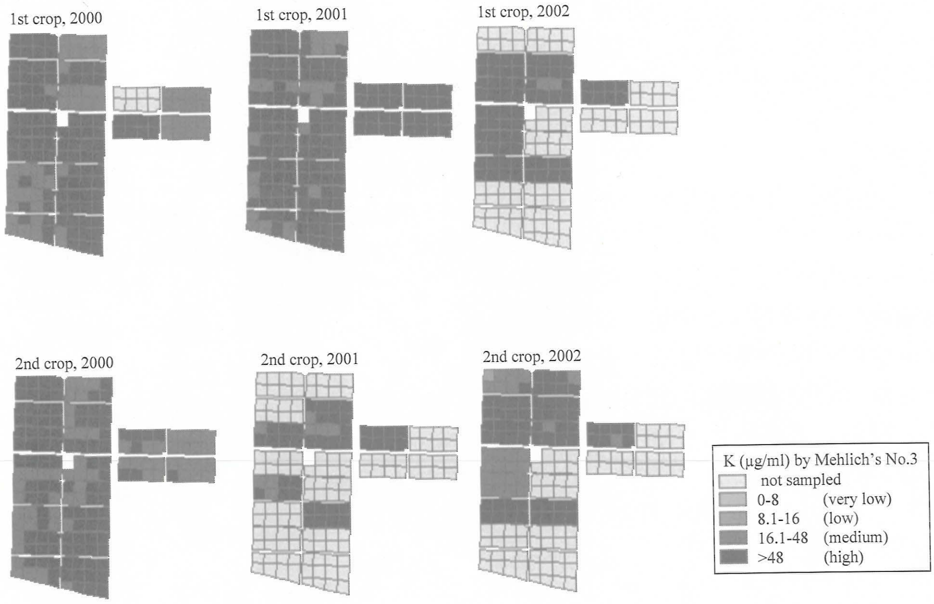

圖 5. 農業試驗所精準農耕試驗田區各期作種植前之表土鉀含量分布圖。

試驗田區施肥決策分析

精準農耕之施肥決策，需藉助遙測技術或相關技術提供空間的產量圖與肥力圖，作爲施肥推薦之診斷基本資料。雖然基於前述多期作的產量圖，可能因施肥方式所造成的產量空間變異大於土壤肥力空間變異之影響，但一、二期作因生長期間之氣候條件不同，仍有明顯的生產力差異。在肥力部分，則因採樣的限制，在相同的栽培耕作下，並未見逐年呈現某一趨勢的變化，但仍可提供區域長期肥力變遷之參考。

(1)期作生產力圖繪製

爲提供施決策系統之生產力圖(即生產潛量圖)，須累積多年的產量圖，本所在精準農耕研究計畫試驗期間，除了特殊的試驗設計外，肥料之供應均爲氮：磷酐：氧化鉀=130：69：60 kg/ha，就水稻之生長爲充足的養分供給，在試驗期間亦未發生嚴重之病蟲害，因此可整合多年的產量資料，提供試驗田之生產力圖。根據試驗田區之調查結果，一期作各小區應可全面列爲第一級生產力；二期作之生產潛力分佈圖，則 89、38、42 號田可以 2001 年之二期作產量爲準，81-88 與 39、43 號田可採用 2000 年二期作之產量，74-80 則採用 2002 年二期作之產量。

(2)磷、鉀肥力圖

土壤中磷、鉀含量雖隨作物耕作與肥培管理而有變化，但因其在土壤中之反應，不似氮素複雜，含量變化較緩和，因此一般建議二、三年即應檢測一次(陳等，2002b)，以掌握肥力狀態，提供合理的磷鉀施肥推薦，以減少肥料之浪費，並減輕環境之衝擊。由本試驗期間各期作之磷、鉀肥力狀態變化，亦顯示應可不必每一期作均檢測磷、鉀肥力。本次分析僅先採用採樣較完整之 2000 年二期作與 2000 年一期作之肥力圖進行施肥決策分析。

(3)施肥決策分析

依據目前農場之施肥管理，基肥係施用臺肥 39 號 300 kg/ha，第一次追肥施用臺肥 1 號 100 kg/ha，第二次追肥施用臺肥 1 號 200 kg/ha，全部試驗田共 10.83 ha，共需約 6500 kg 之肥料。若以前述繪製之一、二期作生產力圖，分別與 2001 年一期作與 2000 年二期作之肥力圖及連結土壤資料庫，以相同的肥料進行施肥推薦，則整個試驗田區一期作需 6200 kg 之肥料，二期作需 5600 kg 之肥料。相較於目前的施肥量，二期作約可節省 14%之施肥量。

由於試驗田區的磷、鉀含量均高於中級，因此在選擇施用複合肥料時，決策系統針對氮素需求進行推薦。故前述分析案例，若選擇施用單質肥料，則磷酐、氧化鉀施用量可分別再減施 70 與 50%左右。決策系統之穗肥推薦，主要依幼穗形成期時葉片氮素狀態而定，然而研究計畫中尚未提供整個施肥田區的幼穗形成期時葉片氮素狀態圖，故本文未進行分析。

目前水稻施肥決策系統之診斷基準係依據前人之肥料試驗結果，故施肥推薦乃依據我國現有之一、二期作耕作制度，若欲擴展於其他不同之栽種時期，則需藉助如水稻生長模式等之分析工具，此模式之適用性評估研究，亦在水稻精準農耕體系研究計畫進行中。

四、結語

本文係針對精準農耕研究計畫在農試所之試驗田區，進行施肥決策系統之案例分析。由於精準農耕研究試驗，未能提供使田區肥料均勻撒佈之技術，亦未能利用遙測技術提供更精準之施肥推薦，因此目前各期作試驗田區出現之空間產量變異，可能因人工撒施肥料所造成之肥力不均，導致產量之空間變異，較肥力或土壤之空間變異更關鍵。然而比較多年的產量圖，期作生產力之差異甚明，並可藉此可繪製試驗田區之期作生產力圖，以提供施肥決策之基本診斷資料。未來藉由遙測技術之開發，提供更精準之空間資訊，將相對可獲得更精準之施肥圖。

五、誌謝

本文研究承蒙行政院農委會 90 農科-4.1.1-農-C2(02)及 91 農科-5.1.3-農-C2(05)之計畫經費

支持。本所農場賴吉雄組長及楊清祥、陳烈夫、陳志昇、陳邦華、劉嘉仁，農化組王鐘和博士及江志峰、艾慶平、潘朝基、陳琳湖、林毓雯執行試驗田區之管理作業，並提供產量資料，農化組郭鴻裕研究員及劉禎祺、葉明智、朱戩良、劉滄棽等多位先生女士，提供試驗田區之肥力資料，作爲本文施肥決策分析之基本資料，特此致謝。

六、引用文獻

林家棻。1967。臺灣省農田肥力測定。臺灣省農業試驗所試驗報告第 28 號。臺灣省農業試驗所。

連深。1998。我們的水田需要減「肥」了！--水稻的合理化施肥技術。p.8-13。爲我們的土地量身減肥。合理化施肥推廣手冊(1)。行政院農業委員會、臺灣省政府農林廳。

連深。1999。稻田之肥培及土壤管理改進。p.379-388。台灣稻作發展史。臺灣省政府農林廳。

郭鴻裕、劉禎祺、譚增偉、朱戩良、劉滄棽、葉明智。2001。土壤資料庫之建立及土壤肥力空間變異。行政院農委會農業試驗所九十年度試驗研究計畫研究報告。(水稻精準農業(耕)體系之研究 II)。

郭鴻裕、劉禎祺、譚增偉、朱戩良、劉滄棽、葉明智。2002。應用土壤資料庫於水稻精準農耕土壤肥力分佈之探討。p.139-151。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所，臺中縣。

陳文德。2000。我國精準農業的發展方向與策略。p.8-13。水稻精準農業(耕)體系之研究研討會。楊純明、林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所，臺中縣。

陳春泉、郭鴻裕。1991。台灣地區稻田生產力分級規範及調查。臺灣省農業試驗所特刊第 34 號。

陳琦玲、林毓雯、王鐘和、張瑞明、劉滄棽。2002a。水稻精準施肥決策系統初擬。p.167-178。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所，臺中縣。

陳琦玲、郭鴻裕、張愛華、劉滄棽。2002b。土壤資訊在合理化施肥上的應用。p.95-125。土壤資訊之應用學術研討會論文集。李達源主編。中華土壤肥料協會，臺北。

黃眞生。1978。台灣水稻二期作低產之原因。台灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。行政院國家科學委員會，臺北市。

楊光盛。1991。肥料推薦量系統模式建立研究。國立台灣大學農業化學研究所博士論文。

劉禎祺、郭鴻裕、譚增偉、朱戩良、劉滄棽、葉明智。2002。土壤資料庫之建立及土壤肥力空間變異。行政院農委會農業試驗所九十一年度試驗研究計畫研究報告。(水稻精準農業(耕)體系之研究 III)。

賴吉雄、楊清祥、陳邦華、陳志昇、劉嘉仁、陳烈夫、呂秀英。2001。精準農業水稻試驗農場之建立與運作。中華農業研究 50(3):77-87。

戴登燦、林月金。1992。台中區水稻施肥量與施肥方法之調查研究。I. 水稻施肥量與施肥次數。臺中區農業改良場研究彙報 35:33-40。

澀澤榮。2000。精密農法上的情報利用。農業與園藝 75(8):853-858。

Blackmore, S. 2000. Developing the principles of precision farming. http://www.cpf.kvl.dk

Lian, S. 1989. Fertility management of rice soils in R.O.C. on Taiwan. In FFTC Book Series No. 39.

Robert, P.C. 1997. Remote sensing: A potential powerful technique for precision agriculture. Land satellite information in the next decade II. December 4, 1997. Washinglon D.C.

Sibbesen, E. and A.N. Sharpley. 1997. Setting and justifying upper critical limits for phosphorus in soils. p.156. Phosphorus Loss from Soil to Water. H. Tunney, O.T., Carton, P.C. Brookes and A.E. Johnston. (ed.) CAB international. UK.

Case Study of Fertilization Decision Support System for Precision Farming on Rice

Chi-Ling Chen* and Jui-Min Chang
Division of Agricultural Chemistry, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail:chiling@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Field experiments were conducted in the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute to study a Fertilization Decision Support System for precision farming on rice in Taiwan. The experimental farm set up for the study was 10.83 ha and was divided into 163 grid subplots. The map of potential productivity of rice crop is constituted by using the maximum yields of grid subplots from the experiments, and serves as the key information for the nitrogen fertilizer recommendation. In the first crops, yields harvested from the subplots may reach the first level of productivity. In the second crops, yields from some subplots may reach the first level of productivity while some may reach only the second level of productivity. The concentration of available P in soil was maintained from high (11.3-28.3 μg P/ml, by Mehlich's No. 3) to very high level (>28.3μg P/ml, by Mehlich's No. 3) throughout the study. The concentration of available K in soil was maintained from medium (16-48 μg K/ml, by Mehlich's No. 3) to high level (>48 μg K/ml, by Mehlich's No. 3). According to the diagnosis and fertilization recommendation processed from the decision support system, it indicated that 14 % of total fertilizer used in the second crops may be cut out from the current application rate. In the future, when the précised space variability information can be provided from remote sensing, it can be expected to have a more accurate fertilization map for precision farming purpose.

Key words: Rice, Fertilization, Decision Support System.